

韩光中.3种水稻土时间序列黏粒矿物的组合特征与物源指示意义[J].地理科学,2016,36(8):1277-1284.[Han Guangzhong. Clay Mineral Assemblages and Their Provenance Implications of Three Paddy Soil Chronosequences. Scientia Geographica Sinica,2016,36(8):1277-1284.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.08.020

3种水稻土时间序列黏粒矿物的组合特征 与物源指示意义

韩光中^{1,2}

(1.内江师范学院地理与资源科学学院,四川 内江 641112; 2.中国科学院南京土壤研究所/土壤
与农业可持续发展国家重点实验室,江苏 南京 210008)

摘要:对南方丘陵区3种不同母质水稻土时间序列黏粒矿物的X-射线衍射(XRD)进行分析发现:①紫色砂页岩(PS)母质起源土壤的黏粒矿物以高岭石类似矿物为主;第四纪红黏土(RC)母质起源土壤的黏粒矿物以高岭石类似矿物、伊利石类似矿物与三羟铝石为主;红砂岩(RS)母质起源土壤的黏粒矿物以1.4 nm过渡矿物、高岭石类似矿物与三羟铝石为主。②这3种母质土壤种稻后黏粒矿物的变化大体可分为2种情况。RC与RS母质的起源土壤种稻后,土壤黏粒矿物的变化相对较小,伊利石类似矿物相对含量有所增加,这可能主要与钾肥的持续施用有关。PS母质的起源土壤种稻后,土壤黏粒矿物变化相对较大,表现为高岭石类似矿物相对含量降低,低结晶度的伊利石或次生绿泥石与三羟铝石相对含量上升。PS母质发育的土壤种稻后脱钾明显且主要集中在原生矿物部分。这种原生矿物的脱钾作用对土壤黏粒含量和黏粒矿物的类型都有较大影响。③起源土壤的黏粒矿物通常会被水稻土所继承,并在水稻土发育过程中相对稳定,可以用其来指示起源土壤(或母质)的物源组分。

关键词:水稻土(水耕人为土);时间序列;母质;黏粒矿物;物源

中图分类号:S151⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2016)08-1277-08

水稻土(水耕人为土)是中国最重要的土壤资源之一,其发生与演变过程对土壤管理有重要意义,因而受到广泛关注^[1-5]。水稻土可起源于不同类型的土壤,虽受起源土壤(或起源母质)的影响,却又有独特的成土过程。成土过程中人为因素一定程度上超越了自然成土因素的影响,极大改变了土壤原有的发生过程,并呈现一定的规律性。不同水分状况、不同起源的种稻土壤培育过程各异,但在人为耕作、灌溉、施肥的影响下,最终都可以发育成剖面结构大体相似的水稻土^[6]。水稻土的这种“异源同土”现象使得用常规手段准确判别其物源相对困难,这妨碍了很多发生研究的开展。已有研究表明自然土壤中的黏粒矿物能较准确的指示物源并能反映物源区的气候条件,在物源示踪中发挥了重要作用^[7-9]。而水稻土的黏粒矿

物能否用来指示其物源目前还不得而知。本文主要通过分析南方丘陵区3种不同母质水稻土时间序列黏粒矿物的X-射线衍射(XRD)结果来阐明其黏粒矿物的物源示踪作用。

1 材料与方法

1.1 样品采集

紫色砂页岩(PS)、第四纪红黏土(RC)和红砂岩(RS)母质是中国南方较为常见的成土母质。因此,选择这3种母质发育的水稻土时间序列为研究对象,该时间序列主要表现为梯级稻田,广泛分布于南方丘陵山区,多依地势修筑,是一种典型的地表水型水稻土。依据植稻难易和地方文献记载,与村寨临近的坡底土壤由于水分条件较好、土层较厚、距离村寨近而一般最先被开垦为稻田(此处

收稿日期:2015-11-03;修订日期:2016-01-14

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41401235)、四川省教育厅重点项目(14ZA0241)、国家级大学生创新实验项目(X201306)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41401235), Key Fund Project of Sichuan Provincial Department of Education (14ZA0241), National Innovation Experiment Program for University Students (X201306).]

作者简介:韩光中(1981-),男,山东费县人,博士,副教授,主要从事土壤发生与土壤退化研究。E-mail: hanguangzhong@163.com

土壤的种稻历史约等于建寨历史),之后逐步向上开垦,形成了由坡底向坡顶种稻年限逐渐变短的水耕人为土序列。共选择了3个研究区(图1):广西龙胜各族自治县(龙脊梯田)(25°50' N、110°10' E,年均气温18.2℃,年降水量1 557 mm,PS母质)、江西省鹰潭市(28°15' N、116°55' E,年均气温17.6℃,年降水量1 795 mm,RS母质)和进贤县(28°15' N、116°20' E,年均气温17.3℃,年降水量为1 549 mm,RC母质)。

时间序列的建立和相关描述见文献[10]。土壤种稻年限是基于地形部位结合已调查的土壤种稻年限与当地村寨历史综合判定^[10,11],之后又基于Harden^[12]提出的剖面发育指数和Carré和Jacobson^[13]提出的属性距离进行验证^[14]。每个时间序列选择4个土壤剖面按发生层采集土样(采样设计见图1,剖面描述见表1,剖面照片见图2)。所有土壤样本均在水稻(*Oryza sativa*)收割后采集,土壤剖面选在稻田的中心部位,坡底剖面避开容易积水的洼地。3个研究区的年均温度和降水量相差不大,且人为水耕改变了成土因素,会大大减小气候对土壤发生的影响^[6],因此本研究可认为气候对3个研究区水稻土发生的影响作用基本一致,不再单独讨论。

1.2 测定项目与分析方法

土壤样品在室内自然风干后,挑出枯枝落叶、

根系及大于2 mm非土壤物质,过10目尼龙筛。称取过筛土样10~20 g,通过沉降法分离土壤的砂粒、粉粒和黏粒。具体是用30 %的H₂O₂去除有机质后,加入10 mL 0.5 mol/L的NaOH分散剂振荡24 h分散样品。然后将样品通过300目筛分离出砂粒(>50 μm),烘干称重。粉粒与黏粒承接于1 000 mL的高脚烧杯,根据斯笃克斯定律用沉降虹吸分离法分离出粉粒(2~50 μm)与黏粒(<2 μm),然后用蒸馏水洗净、离心浓缩,在40℃烘箱中烘干后称重、磨细。

用DCB溶液去除黏粒的Fe_a,然后分别用1 mol/L MgCl₂(加甘油)和1 mol/L KCl饱和,最后制片进行XRD分析,具体方法参见《土壤调查实验室分析方法》^[14],并根据各特征衍射峰的强度对黏粒矿物组成进行半定量估计。测试仪器为:德国BRUKER公司D8 ADVANCE型仪器进行X-射线衍射分析(XRD);测试条件为:CuKα(λ = 0.15406 nm)辐射,测试电压40 kV,测试电流40 mA,扫描方式为步进扫描,扫描速度为10°/min,步长0.02°。

2 结果与讨论

2.1 3种母质水稻土黏粒矿物的组合特征

MgCl₂(甘油)饱和片的衍射曲线上(图3),1.0 nm、0.5 nm、0.33 nm处(个别峰和其它峰重叠)均出现衍射峰,KCl饱和处理与加温处理后峰仍存

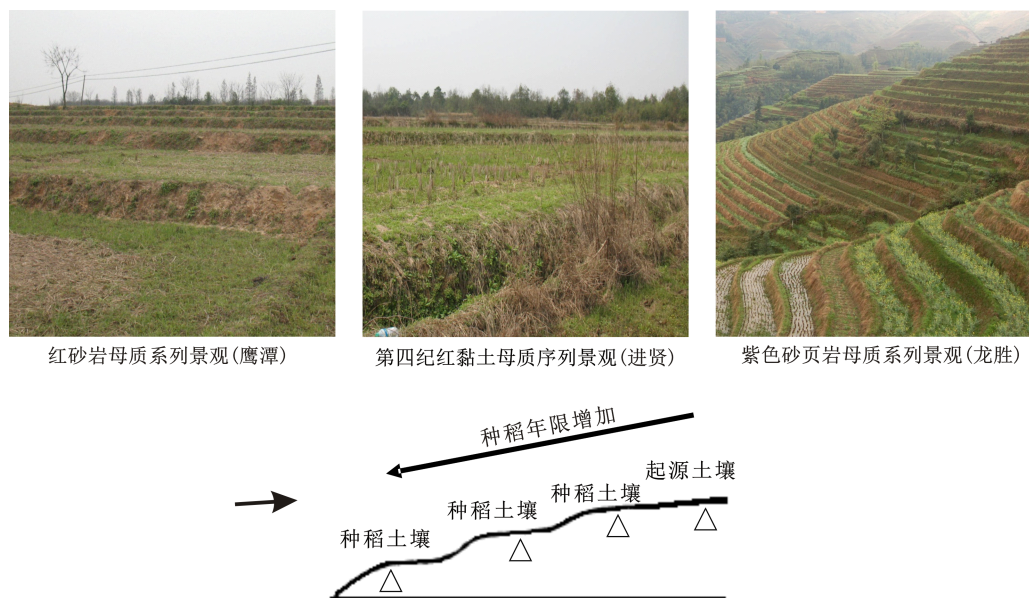


图1 研究区样点分布与采样设计

Fig.1 Study area and sampling design for three paddy soil chronosequences

表1 剖面样点的基本信息								
Table 1 Descriptions of the studied soil profiles								
剖面编号	位置	利用方式	种稻年限 (a)	坡度 (°)	海拔 (m)	黏粒 (%)	全钾 (g/kg)	土壤类型
PS10	坡顶	荒地	0	23	1 104	13.41±0.30	32.04±1.12	酸性紫色湿润锥形土
PS11	坡顶	双季稻	约30	23	1 099	15.27±1.59	31.24±1.17	水耕淡色潮湿锥形土
PS12	坡中	双季稻	100~300	36	935	19.82±4.00	21.55±1.71	普通铁聚水耕人为土
PS13	坡底	双季稻	约300	28	807	15.75±3.02	22.54±0.33	普通铁聚水耕人为土
RC10	坡顶	荒地	0	<6	52	40.20±2.17	13.71±1.17	普通黏化湿润富铁土
RC11	坡顶	油菜(<i>Brassica campestris</i>)-水稻	约100	<6	45	32.94±8.66	14.17±2.98	普通铁聚水耕人为土
RC12	坡中	油菜-水稻	100~300	<6	34	30.24±3.32	15.12±0.5	普通铁聚水耕人为土
RC13	坡底	油菜-水稻	约300	<6	32	25.85±2.34	12.68±0.68	普通铁聚水耕人为土
RS10	坡顶	荒地	0	<6	63	18.24±6.03	9.71±4.52	普通酸性湿润锥形土
RS11	坡顶	油菜-水稻	约30	<6	48	9.68±3.91	13.07±6.28	水耕淡色潮湿锥形土
RS12	坡中	油菜-水稻	60~200	<6	38	12.42±5.92	6.01±1.25	普通铁聚水耕人为土
RS13	坡底	油菜-水稻	约200	<6	36	8.06±3.91	9.00±5.45	普通铁聚水耕人为土

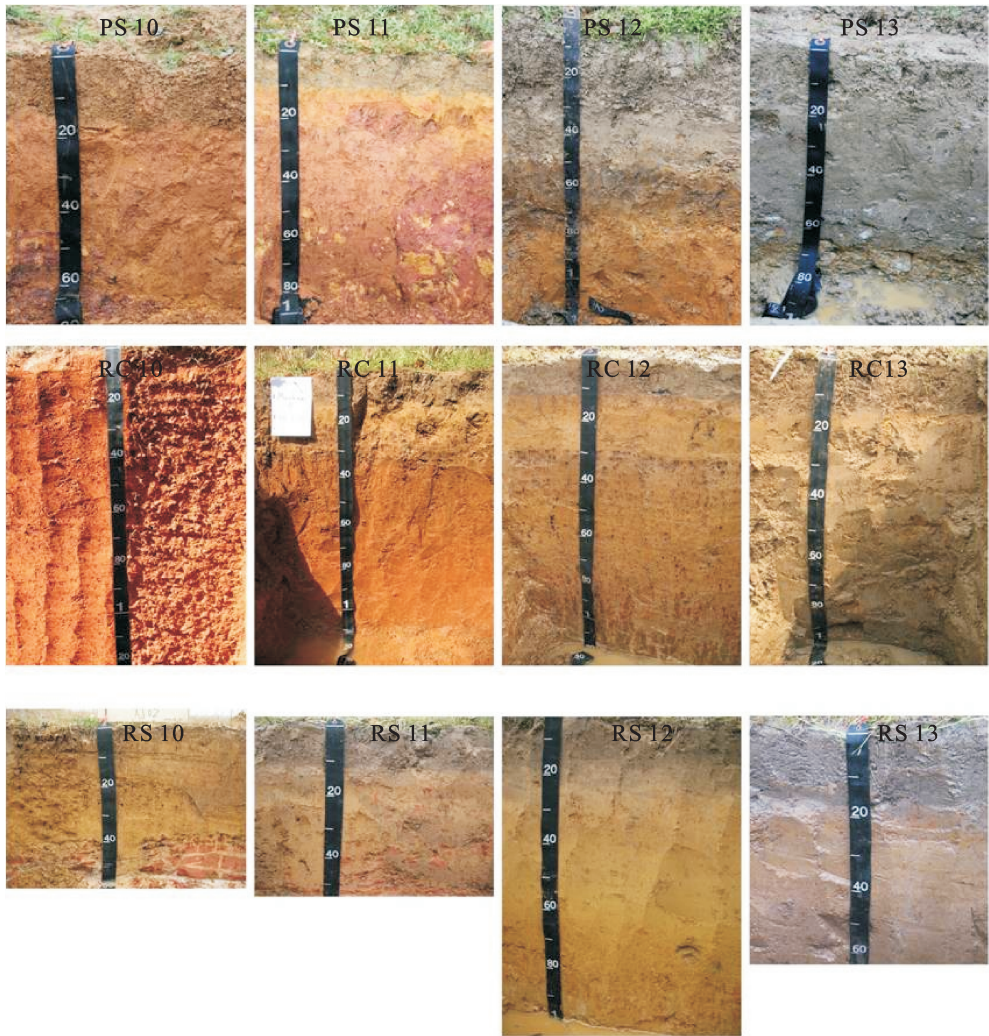


图2 不同母质水稻土时间序列的土壤剖面照片

Fig.2 Chronosequence photos of soil profiles of paddy soils in parent material

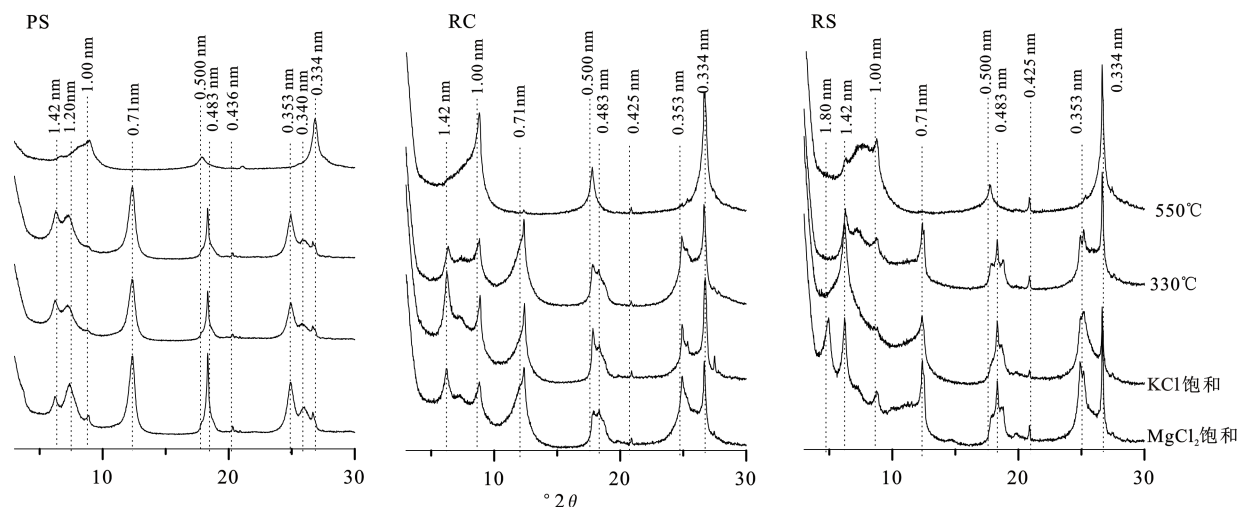


图3 3种母质水稻土黏土矿物的鉴定

Fig.3 Identification of clay minerals in paddy soil chronosequences

在,说明样品中存在伊利石(PS、RC和RS序列)。MgCl₂饱和片的衍射曲线上0.7 nm、0.35 nm处均出现较强衍射峰,KCl饱和处理与加温300℃峰形没有明显变化,加温到550℃时衍射峰消失,说明样品存在高岭石(PS、RC和RS序列)。尽管如此,0.7 nm和1.0 nm处的衍射峰峰形较宽,这表示也有其它矿物存在。为了避免出现争议,本研究用高岭石类似矿物和伊利石类似矿物分别表示0.7 nm和1.0 nm衍射峰指示的矿物。在MgCl₂饱和片的衍射曲线上,1.42 nm处出现较强衍射峰,KCl饱和片加温到300℃,1.42 nm峰向1.0 nm方向收缩移动,加温到550℃时1.42 nm峰收缩成不对称的1.0 nm峰,说明样品并不含绿泥石与蛭石,该峰主要指示1.4 nm过渡矿物(PS、RC和RS序列)。MgCl₂饱和片衍射曲线上0.48 nm处出现较强衍射峰,但加温300℃峰形没有变化说明样品并不含三水铝石,应为三羟铝石(PS、RC和RS序列)。KCl饱和片加温到550℃时存在0.43 nm与0.33 nm处均出现衍射峰,说明样品含有石英矿物(PS、RC和RS序列)。MgCl₂饱和片的衍射曲线上1.8 nm处出现较强衍射峰,KCl饱和处理后收缩到1.0 nm处,说明该峰主要指示蒙脱石(RS序列)。对于PS序列来说,部分土壤样本在1.2 nm处存在一个额外的衍射峰(KCl饱和处理加温到550℃时衍射峰消失),这表明样品可能有低结晶度的伊利石存在。另外该衍射峰在KCl饱和处理与加温300℃时峰形向低角度倾斜,这表明样品可能也有一定

量的次生绿泥石存在。同样,部分土壤样本在0.34 nm处也存在一个额外的衍射峰(KCl饱和处理加温到550℃时衍射峰消失)。考虑到0.7 nm处的宽峰,这表明可能有埃洛石或低结晶度的高岭石存在。

从图4可以看出同母质土壤(包括起源土壤和种稻土壤)之间的黏粒矿物衍射图谱很相似,不同母质土壤之间的衍射图谱差异较明显。PS母质起源土壤的黏粒矿物以高岭石类似矿物为主(0.7 nm),相对含量超过了75%,种稻后黏粒矿物有较规律的变化。基本上随着种稻年限的增加高岭石类似矿物的相对含量降低,低结晶度的伊利石或次生绿泥石(1.2 nm)与三羟铝石相对含量增加。RC母质起源土壤以高岭石类似矿物、三羟铝石、伊利石类似矿物为主,RS母质起源土壤以1.4 nm过渡矿物、高岭石类似矿物与三羟铝石为主。这2种母质的种稻土壤与起源土壤相比伊利石类似矿物相对含量略有增加。但总体上种稻后黏粒矿物的变化没有PS母质明显。另外,种稻土壤剖面内部各发生层间的黏粒矿物非常相似,基本没有明显差异。相比而言,一些种稻土壤剖面各发生层之间的形态特征已有非常明显的分异(图2)。这表明在水稻土剖面形态发育过程中黏粒矿物相对稳定,这使得利用黏粒矿物来指示水稻土的物源存在可能。

2.2 水稻土黏粒矿物的物源示踪作用

主要根据3种母质土壤的黏粒矿物组分数据,

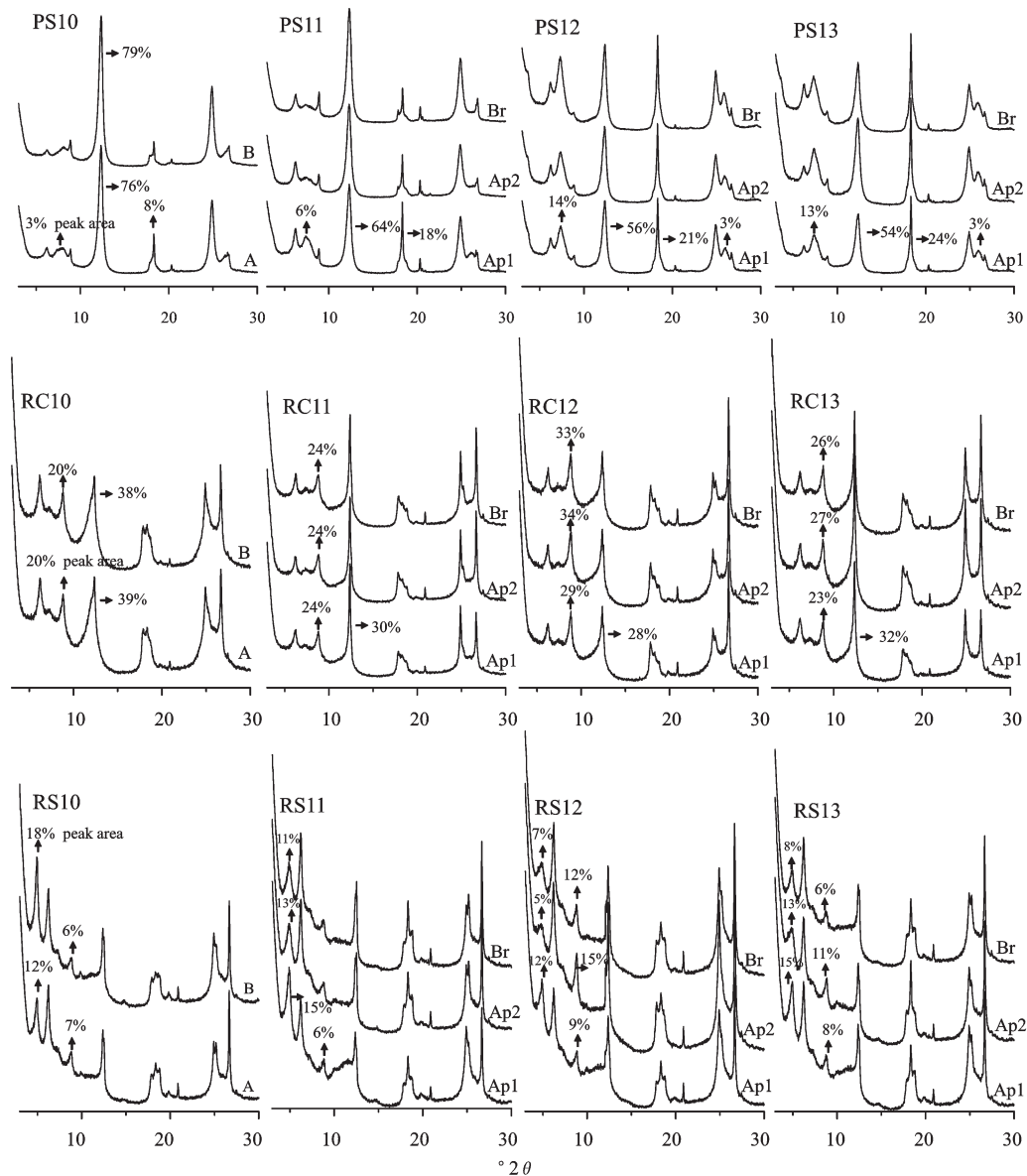


图4 不同母质水稻土典型时间序列黏粒矿物的XRD分析图谱
Fig.4 The XRD characteristic of clay minerals in paddy soil chronosequences

选择相对含量最大的3种矿物为端元做出矿物组分的三角端元图。在本研究中,高岭石类似矿物、三羟铝石、伊利石类似矿物的平均含量最高,分别为38.7%、15.7%和12.6%。下面以这3种矿物为端元,作出矿物组分的三角端元图(1.4 nm过渡矿物的平均含量为11.8%,与伊利石类似矿物接近,也做出了高岭石类似矿物、三羟铝石与1.4 nm过渡矿物的三角端元图)。从图5上可以看出不同母质土壤(包括自然土壤与水稻土)黏粒矿物的投影位置有明显的差异。虽然因所选矿物的不同,3种母质土壤黏粒矿物的投影位置有所差异,但同一

母质土壤黏粒矿物的投影都集中分布在一个较小的范围内,通过黏粒矿物组分的三角端元图可以清楚的区分3种不同母质起源的水稻土。

伊利石结晶度经常用其(001)衍射峰半峰宽来表征(Kübler指数),本文也用1.0 nm衍射峰的半峰宽来表征伊利石类似矿物的结晶度(由于PS系列样本伊利石类似矿物含量极低,就不再计算其结晶度)。伊利石的结晶度通常与伊利石形成的气候环境条件直接相关^[15],因此,其结晶度经常被用来反映沉积物的风化强度与指示气候环境变化^[16]。在RC与RS起源土壤中伊利石类似矿物的

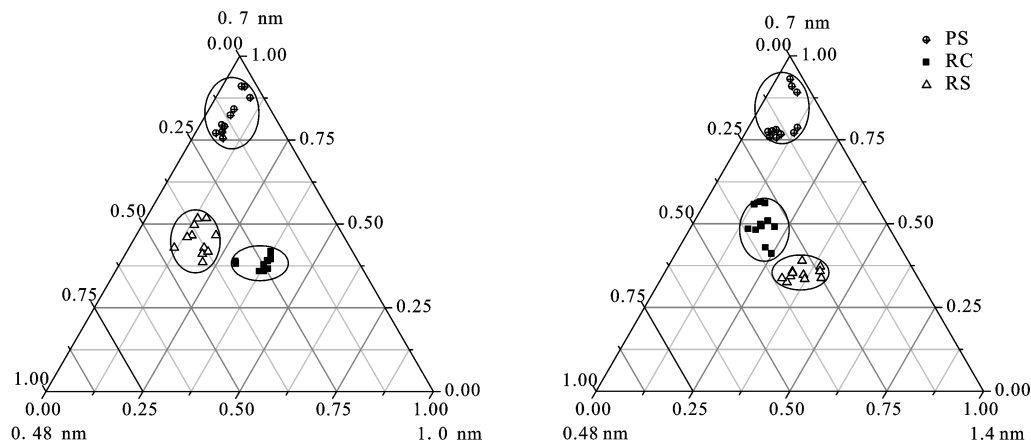


图5 不同母质土壤黏粒矿物组分端元图

Fig.5 The triangular map with the three representative clay minerals for paddy soil chronosequences

结晶度一般小于 0.40° ,而在种稻土壤中一般都大于 0.40° ,种稻后其结晶度变差。这可能主要因为周期性的淹水代表着较强的水解作用,这会引起黏粒矿物晶格有序度和晶体颗粒大小的变化等。

3 讨论

水稻土的发育过程不仅受自然成土因素影响,还受人为活动(耕作、施肥等)的强烈影响,其黏粒矿物的演化有自己独特的特点。本研究中这3种母质土壤黏粒矿物的变化大体可分为2种情况。RC与RS母质的起源土壤种稻后,土壤黏粒矿物的变化相对较小,甚至出现“逆风化”现象(伊利石类似矿物相对含量有一定增加)(图4)。这可能主要与K肥的持续施用有关。已有研究表明耕作措施下长期不施K肥可降低土壤表层的伊利石含量,而长期施K肥可提高土壤的伊利石含量^[17-19]。这样看来,土壤黏粒矿物发挥了重要的缓冲作用:当土壤K素不足时,黏粒矿物会释放一部分K素来供应植物生长;当土壤K素充足时,黏粒矿物则会储存一部分K素。但XRD衍射结果同时显示RC与RS系列土壤的伊利石类似矿物并没有随种稻年限的增加而一直增加,这说明土壤黏粒矿物对K素的缓冲作用可能是有限的。需要特别指出的是这两种母质种稻土壤的黏粒含量较其起源土壤有明显的降低(表1),这种黏粒损失会引起土壤矿质养分的损失。这也可能是为什么RC和RS系列种稻土壤的伊利石类似矿物相对含量增加,但某些种稻土壤剖面(RC13、RS12和RS13)的全K含量较起源土壤却是降低的(表1)。PS母质的起源土壤

种稻后,土壤黏粒矿物变化相对较大,表现为高岭石类似矿物相对含量降低,低结晶度的伊利石或次生绿泥石与三羟铝石相对含量增加。一般而言,种稻土壤的机械淋溶、还原淋溶、络合淋溶、铁解淋溶等过程都会造成一部分黏粒损失^[6]。尽管如此,PS母质种稻土壤的黏粒含量较起源土壤却有一定的增加(表1)。物质输入或黏粒自生(转化和螯生等)通常会补偿土壤黏粒的损失。当土壤新补充的黏粒含量大于损失的,则表现为上升,反之,则表现为下降。就丘陵区的水稻土而言,最主要的外部成土因素为淹水稻作,且淹水时土壤均处于较强的淋溶过程,可认为外部的成土因素类似。因此PS母质种稻土壤黏粒的增加可能主要是黏粒自生(转化和螯生等)引起的。低结晶度的伊利石或次生绿泥石与三羟铝石等黏粒矿物的增加,使得高岭石类似矿物的相对含量降低,并使得土壤黏粒含量增加。但这并不意味着黏粒损失在PS土壤序列中是受到抑制的,而只是新成的黏粒总量大于损失的。PS母质发育的土壤全K含量相对较高,种稻后全K含量有明显的降低,脱K现象明显。但从其黏粒矿物的变化来看,在种稻土壤的脱K过程中,黏粒矿物并没有明显的脱K。这说明PS母质种稻土壤的脱K作用主要集中在非黏粒部分(原生矿物)。水稻土发育过程中这种原生矿物的脱K作用对土壤黏粒含量和黏粒矿物的类型都有较大影响,今后需加强这方面的研究。

本研究结果同时表明起源土壤的黏粒矿物通常会被水稻土所继承,它们的主要组分在水稻土发育过程中相对稳定,可以用黏粒矿物来指示起

源土壤(或母质)的物源。由于黏粒矿物有一定的向下移动性,利用黏粒矿物的三角端元图判断剖面内的母质均一性时一定要特别小心,也可尝试结合移动性差的粉粒矿物来综合判定。

4 结论

1) RC与RS母质的起源土壤种稻后,土壤黏粒矿物的变化相对较小,伊利石类似矿物相对含量有所增加,这可能主要与K肥的持续施用有关。

2) PS母质的起源土壤种稻后,土壤黏粒矿物变化相对较大,表现为高岭石类似矿物相对含量降低,低结晶度的伊利石或次生绿泥石与三羟铝石相对含量增加。PS母质发育的土壤种稻后脱K现象明显,脱K作用主要集中在原生矿物部分。这种原生矿物的脱K作用对土壤黏粒含量和黏粒矿物的类型有较大影响。

3) 起源土壤的黏粒矿物通常会被水稻土所继承,它们的主要组分在水稻土发育过程中相对稳定,可以用黏粒矿物来指示起源土壤(或母质)的物源。

参考文献(References):

- [1] Li Zhongpei, Velde B, Li Decheng. Loss of K-bearing clay minerals in flood-irrigated, rice-growing soils in Jiangxi Province, China[J]. *Clays and Clay Minerals*, 2003, 51(1): 75-82.
- [2] Zhang Ganlin, Gong Zitong. Pedogenic evolution of paddy soils in different soil landscapes [J]. *Geoderma*, 2003, 115: 15-29.
- [3] Kyuma K. Paddy soil science[M]. Japan: Kyoto University Press, 2004.
- [4] Cheng Yueqin, Yang Linzhang, Cao Zhihong et al. Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils[J]. *Geoderma*, 2009, 151(1/2): 31-41.
- [5] Chen Liumei, Zhang Ganlin, Effland W R. Soil characteristic response times and pedogenic thresholds during the 1000-year evolution of a paddy soil chronosequence[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, 75(5): 1807-1820.
- [6] 龚子同,陈志诚,史学正,等.中国土壤系统分类:理论方法实践[M].北京:科学出版社,1999. [Gong Zitong, Chen Zhicheng, Shi Xuezheng et al. Chinese Soil Taxonomy: Theory. Methodology. Practice. Beijing: Science Press, 1999.]
- [7] Clift P, Lee J I, Clark M K et al. Erosional response of South China to arc rifting and monsoonal strengthening: a record from the South China Sea[J]. *Marine Geology*, 2002, 184(3-4): 207-226.
- [8] Liu Zhifei, Trentesaux A, Clemens S C et al. Clay mineral assemblages in the northern South China Sea: Implications for East Asian monsoon evolution over the past 2 million years[J]. *Marine Geology*, 2003, 201: 133-146.
- [9] Liu Zhifei, Tuo Shouting, Colin C et al. Detrital fine-grained sediment contribution from Taiwan to the northern South China Sea and its relation to regional ocean circulation[J]. *Marine Geology*, 2008, 255: 149-155.
- [10] Han Guangzhong, Zhang Ganlin. Changes in magnetic properties and their pedogenetic implications for paddy soil chronosequences from different parent materials in South China [J]. *European Journal of Soil Science*, 2013, 64: 435-444.
- [11] 韩光中.我国南方丘陵地区不同母质水耕人为土演变特征研究[D].南京:中国科学院南京土壤研究所,2012. [Han Guangzhong. Pedogenesis of Hydragric Anthrosols chronosequences from different parent materials in South China. Nanjing: Institute of Soil Science, Chinese Academy of Soil Sciences, 2012.]
- [12] Harden J W. A quantitative index of soil development from field descriptions: Examples from a soil chronosequence in central California[J]. *Geoderma*, 1982, 28(1): 1-28.
- [13] Carré F, Jacobson M. Numerical classification of soil profile data using distance metrics [J]. *Geoderma*, 2009, 148(3/4): 336-345.
- [14] 张甘霖,龚子同.土壤调查实验室分析方法[M].北京:科学出版社,2012. [Zhang Ganlin, Gong Zitong. Soil survey laboratory methods. Beijing: Science Press, 2012.]
- [15] Singer A. The Paleoclimatic interpretation of clay minerals insediment: A review[J]. *Earth Science Reviews*, 1984, 21 (4): 251-293.
- [16] 陈涛,王河锦,张祖青,等.浅谈利用黏土矿物重建古气候[J].北京大学学报:自然科学版,2005,41(2):309-316. [Chen Tao, Wang Hejin, Zhang Zuqing et al. An approach to paleoclimate-reconstruction by clay minerals. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2005, 41(2): 309-316.]
- [17] Tributh H, Boguslawski E V, Lieres A V et al. Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals [J]. *Soil Science*, 1987, 143: 404-409.
- [18] Barré P, Velde B, Abbadie L. Dynamic role of "illite-like" clay minerals in temperate soils: facts and hypotheses[J]. *Biogeochemistry*, 2007, 82(1): 77-88.
- [19] Liu Yanli, Zhang Bin, Li Chengliang et al. Long-term fertilization influences on clay mineral composition and ammonium adsorption in a rice paddy soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(6): 1580-1590.

Clay Mineral Assemblages and Their Provenance Implications of Three Paddy Soil Chronosequences

Han Guangzhong^{1,2}

(1. College of Geography and Resources Science of Neijiang Normal University, Neijiang 641112, Sichuan, China;

2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy
of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

Abstract: Paddy soils (Hydragric Anthrosols) greatly differ from their parent soils and homologous Orthic Anthrosols in physical and chemical properties, owing to their special soil formation processes. This prevented discriminating their provenance by conventional means. Paddy terraces in the hilly regions of South China are an example of successively expanding cultivated lands in a sustainable system. Because of their depth, fertility and ease of irrigation, soils at the bottom of slopes were generally the first to be converted to paddy; as population pressure increased, lands upslope were progressively brought into paddy cultivation. Thus, these hillside terraces, with increasing cultivation age from the top to the bottom of the slopes, form soil chronosequences. Considering the constraints, three paddy soil chronosequences derived from the main parent materials of the region in the hilly regions of South China, namely, purple sandy shale (PS), Quaternary red clays (RC) and red sandstone (RS), were selected to explore the clay mineral assemblages and their provenance implications. The XRD pattern suggested that kaolinite-like clays were major constituents of the PS soils. Similarly, illite-like, kaolinite-like and bayerite were major constituents in the RC soils, and 1.4 nm intergradient minerals, kaolinite-like and bayerite were major constituents in the RS soils. For RC and RS soils, there was little change in the clay minerals. Long-term paddy cultivation can promote formation of illite-like minerals. In PS soils, the depotassication was strong, accompanied by marked transformation of clay minerals. Kaolinite-like minerals gradually decreased with paddy cultivation age; by contrast, derivative clay minerals such as secondary chlorite and halloysite gradually increased. Strong depotassication mainly occurred in the non-clay fractions. The results also indicated the clay minerals of paddy soils mainly followed the feature of their original soils and that their evolutions could be roughly distinguished based on their constituents. For soils with a low content of K-bearing minerals, there was little change in clay mineralogy. For soils that were abundant in K-bearing minerals, depotassication was strong and the change in clay minerals was comparatively remarkable. This result suggests that the evolution of clay minerals is primarily affected or determined by their original soils derived from different parent materials. In addition, the crystallinity of illite-like minerals would be worse under the long-term paddy cultivation and periods of artificial submergence with highly activity in hydrolysis might cause the change of the ordering degree of lattice of clay minerals. However, the projections of main clay minerals for paddy soils from same parent material centralized in a lesser range and the clay mineral assemblages can reflect their parent material sources in paddy soils.

Key words: paddy soils (Hydragric Anthrosols); soil chronosequences; parent materials; clay minerals; provenance